

Q550D 钢板的焊接性分析与研究

郑州煤矿机械集团股份有限公司 (450003) 王德印

1. 概述

随着国民经济持续快速的发展,对能源的需求也与日俱增,而煤炭长期以来在我国能源消费中占有重要地位。为适应市场需求,伴随而来的是高产高效矿井建设的不断发展,对综采机械水平、生产能力和可靠性要求也不断提高,因此液压支架开始向着大阻力、高可靠性方向发展。随之而来的是高强钢在液压支架中的应用量不断增加,其中尤以 Q550 钢板最具有代表性。通过 TMCP 工艺生产的 Q550 高强钢的焊接性能及焊接工艺被广泛关注,为此,我公司专门对国内某大型钢厂生产制造的该级别钢种的焊接性进行了分析研究,并将研究成果指导应用于生产,为其在焊接领域的广泛应用提供了理论指导。

2. 试验材料

目前,国内钢厂的 Q550 (70kg) 高强钢多是采用 TMCP (Thermal - Mechanical Control Process) 工艺生产。根据公司钢板供应及使用情况,我们选择了某钢厂 TMCP 工艺生产的 Q550D 低合金高强钢作为试验研究对象。试验材料板厚 30mm,其化学成分及力学性能如表 1、表 2 所示。

3. 结语

该凹模在修复后安装使用至今已有半年多,运行情况良好。经测量磨损和变形情况,估计仍可使用一年以上。修复后的凹模,实际使用寿命与新加工的凹模相当,而修复费用仅为新凹模的 1/8,效果很显著。

用铬镍奥氏体不锈钢焊条冷焊法焊接 T8A 碳素工具钢,省去了预热工序,简化了工艺流程。实践证明,补焊工艺合理可行。MW

(20120411)

表 1 Q550D 钢板化学成分 (质量分数) (%)

C	S	P	Si	Mn
0.068	0.0036	0.0095	0.388	1.595
Cr	Ni	Mo	Al	Nb
0.292	0.15	0.145	0.035	0.051

表 2 试验用 Q550D 钢板力学性能

屈服强度 $R_{p0.2}/\text{MPa}$	抗拉强度 R_m/MPa	伸长率 (%)	断面收缩率 (%)	冲击吸收能量 (-20°), A_{KV2}/J		
610	705	23	68.5	253	263	259

从表 1 可以看出,该试验所用的 Q550D 钢板是在 C-Mn 钢的基础上加入 Cr、Ni、Mo 等多种合金元素。这些合金元素能阻止高温奥氏体的长大,控制奥氏体的再结晶温度,增加铁素体形核率,并通过控轧控冷工艺细化晶粒,达到细晶强化的目的。另外,合金元素 Mn、Cr 等除可以固溶强化晶粒外还可以使连续冷却转变图 (CCT 曲线) 向右移动,相同冷却速度下可获得更加细小的珠光体组织,提高钢的强度;该钢种中 S、P 等杂质含量较低,洁净化程度较高。从表 2 可以看出,该钢的强度、塑性及冲击韧性较好,具有优良的综合力学性能。

3. 焊接性分析

试验用钢为低合金高强钢,先对其焊接性能进行理论间接评定。

(1) 碳当量测算 根据国际焊接学会 (IIW) 推荐使用的碳当量计算公式计算试验用钢的碳当量 $CE = 0.4312\%$,略大于 0.4%,可认为该钢具有较好的焊接性,但有一定的淬硬倾向,焊接时应选用合适的焊接方法与合适的低氢焊接材料,制定合理的焊接工艺,严格控制焊接过程。

(2) 试验用钢连续冷却转变 (CCT 曲线) 图测定与分析 从焊接连续冷却转变 (CCT 曲线) 图上可以看出,该 Q550D 钢出现贝氏体的临界冷却时间

为 16.9s, 马氏体转变终了的临界冷却时间为 74s, 出现铁素体的临界冷却时间为 670s, 出现珠光体的临界冷却时间为 1050s。当 $t_{8/3} \leq 16.9s$ 时, 焊接热影响区过热区组织为 100% 马氏体, 硬度为 325HV (HV5); 随 $t_{8/3}$ 增加, 马氏体逐渐减少, 贝氏体逐渐增加, 硬度逐渐降低, 由 325HV (HV5) 逐渐降低到 260HV (HV5) 以下。当 $74s < t_{8/3} \leq 670s$ 时, 过热区组织为 100% 贝氏体, 硬度降低到 240HV (HV5) 左右; $670s < t_{8/3} \leq 1050s$, 过热区除贝氏体外开始出现铁素体, 硬度降低到 220HV (HV5) 左右; $t_{8/3} > 1050s$ 以后, 开始出现珠光体, 过热区组织为贝氏体 + 铁素体 + 少量珠光体, 随 $t_{8/3}$ 增加, 相应的硬度值降低到 200HV (HV5) 左右。这表明, 该 Q550D 钢板焊接热影响区淬硬倾向不明显。

表 3 钢板最高硬度及基体硬度 (HV10) 试验结果

(单位: HV)

基体硬度结果		最高硬度试验结果			
距上表面 1~2mm 处	距下表面 1~2mm 处	测试条件	左侧测试点 $Z_1 \sim Z_7$	中心点 0	右侧测试点 $Y_1 \sim Y_7$
199	201	室温	206、200、198、212、 230、220、222	229	216、212、216、220、 213、210、203
200	198				
200	201		203、208、204、202、 201、212、213	227	218、213、224、225、 212、214、213

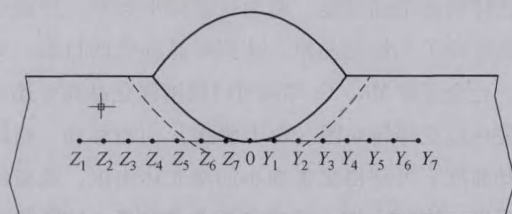


图 2 最高硬度测试点示意

钢板为非调质钢, 由试验结果可以看出, 热影响区最高硬度在 210HV (HV10) 左右, 可认为该 Q550D 钢板具有良好的焊接性, 预热后焊接热影响区硬度有少许降低。说明预热在一定程度上可以提高焊接接头性能, 降低淬硬倾向, 但不是十分明显。

(4) 斜 Y 坡口试验 试验参照 GB 4675.1—1984 分两组进行, 分别为室温不预热焊接与预热 50℃ 焊接, 试验焊接参数与结果分别如表 4、表 5 所示。

表 4 斜 Y 坡口焊接裂纹试验焊接参数

焊丝牌号	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/mm · min ⁻¹
GHS70	260	27	350
保护气体		气体流量/L · min ⁻¹	
80% Ar + 20% CO ₂		20	

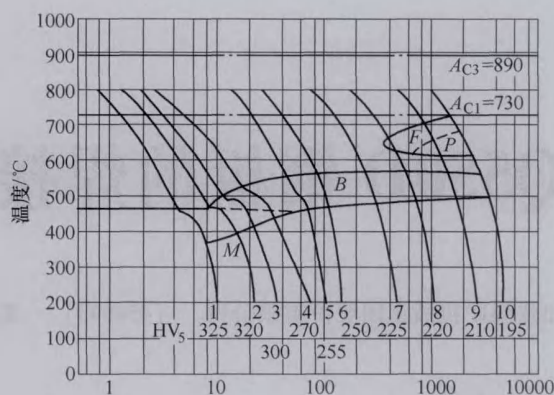


图 1 试验用 Q550D 钢板焊接连续冷却转变图 (CCT 曲线)

(3) 最高硬度试验 钢板焊接热影响区最高硬度试验 (HV10) 结果如表 3 所示, 最高硬度测试点示意图如图 2 所示。

表 5 斜 Y 坡口焊接裂纹试验焊接结果

试件编号	预热温度/℃	表面裂纹率 (%)	断面裂纹率 (%)	备注
1	室温	0	8.6	起弧端和收弧端有少量裂纹, 可忽略
2	50	2.6	2.6	—

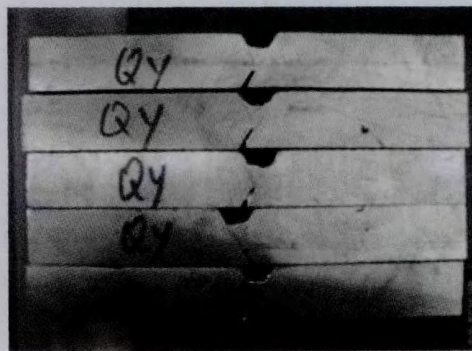


图 3 斜 Y 坡口焊接裂纹试验试样

由表 4 及图 2 可见, 该 30mm 厚 Q550D 钢板在室温不预热条件下使用表 4 参数焊接, 试样表面裂

纹率为零,断面裂纹率为8.6%;当预热温度为50℃时,试验的表面裂纹率及断面裂纹率均为2.6%。试验结果表明:试验用钢焊接性能良好,在较苛刻的拘束条件下、钢板规格较厚时,可以适当预热50℃,以防止冷裂纹的产生。

4. 焊接试验

综合以上分析结果,结合生产实际,我们选定表6所示的焊接参数对Q550D钢板做对接接头焊接试验。试验采用V形坡口(见图4),焊接材料选用MK.GHS70 $\phi 1.2\text{mm}$ 焊丝进行等强匹配焊接,试验结果如表7所示。

表6 对接接头焊接参数

焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /mm · min ⁻¹	保护 气体	预热温度 /℃	层间温度 /℃
270 ~ 290	28 ~ 30	310	80% Ar + 20% CO ₂	室温 20	<200

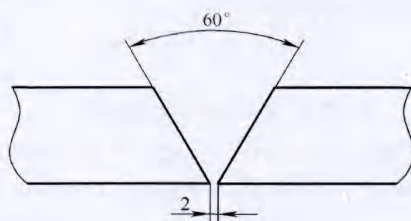


图4 对接接头坡口示意

表7 对接接头综合力学性能

匹配 焊丝	抗拉强度 R_m /MPa	断裂 位置	焊接接头 侧弯 $d = 3a$, $\alpha = 180^\circ$	焊接接头冲击吸收能量 $A_{KV} (-20^\circ\text{C})$ /J			
				焊缝		热影响区	
MK.	700	母材	完好	100, 106, 82	155, 115, 210		
GHS70	705	母材		平均 96	平均 160		

图5是焊接接头各部位微观组织,通过图5可以看出,焊缝金相组织为针状铁素体+粒状贝氏体;热影响区过热区金相组织为粒状贝氏体;不完全正火区组织为在被拉长的铁素体晶粒晶界上分布有呈链状分布的细小等轴晶;母材组织为粒状贝氏体(铁素体基体上分布颗粒状碳化物),晶粒被拉长。

由表6可看出,进行等强匹配对接焊接后,拉伸试样均断裂在母材,说明焊接接头力学性能良好,并

且热影响区具有较高冲击吸收能量,说明该Q550D钢板具有良好抗焊接热冲击能力。

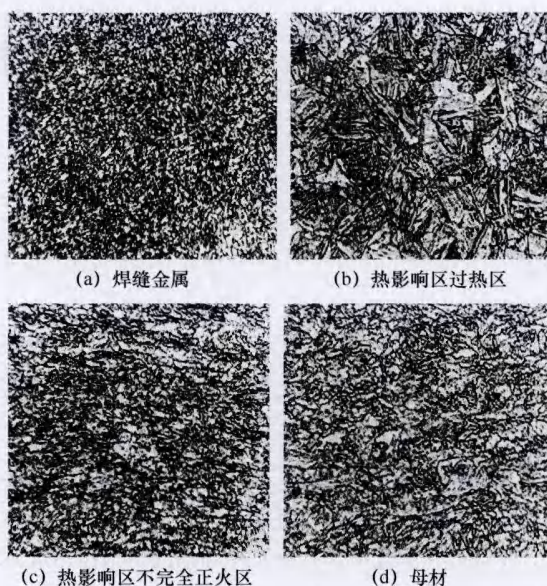


图5 焊接接头各部位微观组织(350×)

5. 结语

根据对该Q550D 30mm厚钢板焊接性分析及焊接工艺评定,可得出如下结论:

(1) 焊接连续冷却转变(CCT)图测试结果表明:该Q550D钢板焊接热影响区淬硬倾向不明显。

(2) 焊接冷裂纹敏感性试验研究表明:在中等拘束条件下,该钢板采用实芯焊丝富氩混合气体保护焊,在不预热条件下焊接可以防止冷裂纹的产生。但在钢板规格较厚及等强匹配修补等苛刻的拘束条件下,应预热50~100℃,强韧性匹配时可以不预热。

(3) 由于焊接V形对接60°试板的焊接参数接近于实际生产,所以该工艺试验表明:焊接接头的综合力学性能良好,能够满足相关工矿产品性能要求。

根据以上结论,将本批次Q550D钢板应用于公司高端产品ZY12000/20/40D神华5m掩护式支架,整个制造过程顺利,产品交检合格。支架在交付用户中国神华集团使用后没有出现焊接质量问题,此后,Q550D钢板已广泛应用于公司高端液压支架,取得良好的社会及经济效益。**MW**

(20120430)